農業氣象

農業氣象災害與其防除方法

主講／小澤行雄・日本農業氣象專家・
翻譯／徐森雄・屏東農專・
筆錄／漆匡時・農試所農藝系・

緒　言

今天的講題爲「農業氣象災害與其防除方法」，而一般談到農業氣象災害時，係指由於異常氣象所引起農業上的災害；農業上的災害不單指農作物之受害，諸如洪水所引起之農地流失或强風所引起農業設施之破壞等均包涵。但如此一來，話題太廣，因此今天僅就農作物的氣象災害來談。

一、災害總論

一般之災害由引發之異常外力與受害對象物兩者所構成，若無被害對象，即使外力再大也不會造成災害，例如强烈颱風來襲時，造成洪水氾濫，倒樹折枝，若發生在無人煙之地，也只不過是自然現象而已，不致造成災害，也就是說災害並非單純的自然現象，亦爲人類的社會現象，因此，災害隨著社會的變化有明顯的時代性。此種特性隨著災害原因之外力大小與被害對象抵抗力呈現對應而變，例如日本之霜害，茶之嫩葉持續在-2℃以下3～4小時即受害；發生被害之限界氣溫-2℃，只是概略之基準而已，事實上，隨著品種之不同，有在-1.5℃受害者，亦有達-2.5℃仍不受害者，其抵抗低溫之力量亦異；反過來說，同一品種於同一時期遭受低溫情況小者，被害輕，嚴重低溫者被害亦重。

總之，一般災害之受害程度，可說是災害原因之外力大小與被害對象作物抵抗力大小之具體表現；此種特性在考慮災害防除上具有非常重要的意義。因爲防災時係從以下兩個方向考慮，其一是減少造成災害之外力，其二爲增强被害對象作物之抵抗力。

目前在日本較有代表性的農作物氣象災害—水稻冷害，在生育時期的夏季，晝間的氣溫持續低於22～23℃時即發生農業氣象災害，其防災之最大對策乃培育耐冷性强的品種，自十九世紀末以來，日本之農業研究機關即著手進行，百餘年來北海道依然全力推動此項研究，這就是上述第二個方向，增加被害對象之抵抗力。此外，亦致力於栽培方法的改善，實施早播早植，使生育的重要時期不致遭逢低溫。不僅如此，在改善水溫環境上亦投注相當力量，如早期之構築用水貯留池使水溫上升，最近則在水田畦畔上方設置防風網。在北海道或東北地方，夏季由東北方吹來冷風，如設防風網，則網之下風處，水溫有極大之上升效果，在水稻生育初期，晴天時水溫上升幅度可達4～5℃，此種升溫之水隨著風之吹送，可使全田之水溫提高，雖隨著生育之繁茂，水溫上升幅度逐漸減弱，仍有相當

效果。水溫升高後，地溫及水面附近的氣溫亦獲升高。水田環境全部獲得顯著的改善。生育初期效果尤爲顯著，後期效果雖減弱，但仍使稻株健壯，可以看出其在冷害防除上的具體貢獻。

此一技術係本人於1977年在北海道農業試驗場擔任農業物理部長時，以農業氣象研究室爲中心，由各相關研究人員共同協力開發出來。由於效果顯著，快速在北海道地區普及。此爲上述第一方向，將災害成因之外力減弱。

農作物氣象災害防除上不論是提高作物抗力或減弱災害成因均有其一定之界限。因此，這兩者有如車之兩輪，應共同加以持續探究。

二、農作物氣象災害的種類與其被害金額

1.農作物氣象災害的分類

氣象災害起因於異常氣象條件之來襲，爲了把握氣象狀態，將氣象要素予以分類並以定量上的測定數字來表現。

氣象狀態本爲各要素的綜合現象，但在農作物之氣象災害上，則概要的以單一氣象要素，明顯的偏離年平均值時，始發生災害。相關之氣象要素爲溫度、降水與風。因此，基本上農作物氣象災害起因於：(1)溫度的過低或過高，(2)降水量的過多或過少，(3)風等之破壞力，(4)其他之原因所致。以此一觀點來分類農作物之主要氣象災害列如表1。

2.日本近年來農作物氣象災害之被害金額

上述各種農作物之氣象災害受害程度依最近農林水產統計結果，示如表2。從表中可以看出，在日本每年多多少少均有農作物氣象災害發生，其被害率最低也在1%以上，其次以1966～1985年之20年間分成前後兩期時，被害率於後半期(平均4.0%)較前半期(平均2.8%)爲高。此外，以種類來看，發生頻率最高的爲風水害，幾乎每年均發生，其次依雹害、霜害、旱害、雪害之順序，約每2年發生一次。這六種災害中，頻度最低的冷害，在20年中亦達8次。被害金額方面，冷害、風水害、旱害均爲該年度之第一位；一年之被害金額超過數千億圓者只有冷害而已。綜合論之，日本的農作物氣象災害依然以冷害爲最重，其次爲風水害、旱害，再其次爲雹害、霜害、雪害等。

各種氣象災害之內容簡列如上表，其中較主要之發生情況說明如下：

(1)**冷害**：受冷害之代表作物爲稻、豆類，係因夏季之低溫而非作物體之凍結現象，其雖有因一日之極低溫而發生者，但多數爲連續數日之低溫引起慢性的被害，此與霜害或凍害不同。

(2)**冷水害**：每年均經常發生，與冷害不同。但隨著年度或場所之氣溫高低，其被害有輕有重。

(3)**霜害**：日本的霜害於早霜(秋)、晚霜(春)期發生，與台灣之霜害不同。一般最低氣溫在-2～-4℃左右時發生。主要受害作物爲果樹類、桑、茶等。霜害係因作物體凍結而受害，遭遇低溫時，若植物體仍爲過冷卻狀態，則不致發生災害。

(4)**高溫害**：受高溫害之主要作物爲稻、牧草以及溫室內之蔬菜類，與冷害，冷水害相同，均係持續多天之高溫所引起之慢性被害。

(5)**水害**：由於颱風或其他原因出現大雨、長雨或急激之融雪等引起洪水爲害。水害之預防上，甚難僅以

農作物爲對象，而爲國土保安上的全體問題，以現今的農作物水害對策，尚僅能說是事後之對策而已。

(6)**雪害**：雪害分成兩類，一爲因積雪之負重或移動所引起的機械被害，另一則爲長期之積雪環境所產生植物生理的、病理的被害。前者以果樹的被害爲代表，分類上應劃入破壞力項。此外，後者方面，近來於多雪地帶已少種越冬作物，但仍有牧草或麥類等受害。

(7)**旱害**：於30年前爲嚴重災害之一，近年來由於灌溉設施普及，已顯著降低，但灌溉設施仍缺少的坡地果園或旱作地，依然有旱害發生。

(8)**風害**：風害除因強風使作物發生機械性損傷或水分平衡遭受破壞等被害外，尚有其他之型態。如水稻於出穗期遭受焚風時，將發生白穗。風如含有鹽分，作物之風害將加重，各稱之爲乾風害、鹽風害，雖與一般單純之風害可以區別，但廣義的說乃是風害。

此外，冬季期間，在低溫強風吹襲之下，常引起柑橘的異常落葉，此乃因地溫、氣溫均降低的風害，稱之爲寒風害。寒風害可說是二個以上的氣象要素異常所呈現出綜合性的農作物被害。

(9)**雹害**：直接的被害爲農作物莖葉的機械性損傷以及落果等，近年來之溫室或隧道型栽培設施亦遭受嚴重之損害。

(10)**環境污染害**：隨著近30年來經濟高度成長所引發新的農作物被害。環境污染之中，造成農作物較大災害的爲大氣污染與水質污染。如今，環境污染爲全球性的問題，其對策應尋求國際間的協力合作。

(11)**風水害**：此處之風水害爲颱風所帶來之風害及水害，於二者之被害無法區分時統稱之。

三、氣象災害的防除方法

一般來說氣象災害防除爲相當困難的工作。誠如先前所說，災害原因之外力爲自然氣象現象，欲以人力來控制絕非易事，尚且要提高受害作物之抵抗力亦有一定限界，因此針對所有之各種災害尚無法建立經濟且有效的防除方法。

今天，因爲時間上的關係，僅就一般認有效且在台灣亦受重視的霜害防除法與防風設施兩項來向各位報告。

1.霜害防除方法

霜害多在氣溫低於作物之危險臨界溫度-2至-3℃時發生，因此，只要設法將溫度提高少許，即可防霜，即使無法完全防止，亦可使災害減輕許多。因而自古以來，即設法使溫度上升，惟在野外，欲以人爲方法使氣溫升高1～2℃，實頗困難，成功的事例也不多見。

迄今爲止，經過試驗，且實際爲農家所利用之方法，有煙霧法、燃燒法、結冰法、送風法等，簡單敘述如下。

(1)**煙霧法**：利用枯草或舊輪胎，使其不完全燃燒，產生大量煙霧，於水田或旱田之上瀰漫。乃自古以來所常用之方法，目的在利用煙霧防止地面之長波輻射，使夜間之冷卻作用減緩，然而，一般之煙霧對紅外線無甚遮斷效果，因此，亦無甚防霜效果，近年來已幾乎不用。

(2)**燃燒法**：利用燃燒器配置於果園，燃燒重油使氣溫上升之方法。於30年前，有關燃燒器之配置法、配

置個數等之研究曾盛極一時，也證實有相當效果，其溫度上升情形隨著當時條件而異，約為1～2℃，因此曾盛行於果園、桑園之防霜上。然，近年來桑園減少，果樹園亦避開霜害危險地，此一方法也漸少見。

(3)結冰法：全稱應為撒水結冰法，其方法及原理如次。

於預測會發生降霜之夜，氣溫低降至0℃附近時，以噴水器噴出微細水滴澆於作物體上，此一霧狀細水滴附著作物體後立即結冰，只要持續噴水，作物即不停的有冰膜附著，持續至翌晨太陽出來，冰膜融化為止，需不停噴水是為此一方法之癥結所在。但撒水量較一般灌水時要少，通常1小時僅數mm而已，因此噴水頭與噴灌所用者不同。

1克的水凝結成冰時要釋出80 cal熱量（凝結的潛熱），因此，以此方法使冰持續在作物體上附著，凝結熱則不斷傳給作物體，使其一直保持在0℃，此即為撒水結冰法之原理，參考圖1。

依此一方法，撒水量增加，熱之補給量也增大，因此原理上來說，不論溫度降到多低，均可防範，也就是說絕對有效的霜害防除方法。然而實際上，受到噴水頭性能上的限制，不可能說任何低溫均安全。所倖，前已多次談到，霜害並非因極其低溫時發生，因此，一般來說，此一方法足可防除霜害，於日本，部分的茶園以此方法來防除霜害。

(4)送風法：簡單的說，就是利用風扇送風，使農地的上下層的空氣混合，謀求下層空氣溫度上升的方法。

晴天、無風之夜晚，地面附近的溫度分佈，下層低而上層高，即為溫度逆增狀態。霜害在寒潮爆發，冷氣團來到前述條件具備時發生，因此以風使上下層空氣混合，可提高下層空氣溫度，此為送風法防除霜害之原理，但溫度上升量隨條件而異，普通約1～2℃左右，參考圖2。

其實，此一方法還有另一種效果，於無風夜晚，作物葉面境界層呈層流狀態，葉溫較周圍氣溫低1～2℃，如有風吹送時，層流境界層將被破壞，使得葉面溫度上升接近周圍氣溫，也就是說實施送風後，作物附近的氣溫上升1～2℃，而作物葉溫又更上升1～2℃，亦即葉面因而上升了2～4℃，此與燃燒法相較，有更大之升溫效果。因此，送風法在霜害防除上非常具有實效，目前在日本，茶園、柑橘園之防霜，甚常用此一方法。

在歐美，常採用大型、馬力大的風扇，然在日本則採用小型風扇，而增加單位面積之風扇個數（每分地約3～4台），就植物體溫上升效果而言，似較歐美者更合理。

2.防風林(垣)的機能

為了防風，自古以來即知建造防風林或防風垣。但為求防風設施發揮最大效果，應先瞭解防風設施之物理學上的作用。

防風林前後風之流線示如圖3模式，在距防風林較遠之風上方，風與地面平行強速流動，接近防風林後變弱，一部分空氣穿越防風林，一部分空氣迴避防風林而抬越流過，在防風林背後形成相當細長渦流，地面之風呈相反方向流動且風速最弱，在渦流之後方，隨著上層強風下降，地面附近風速亦逐漸加強，離開防風林一段距離之後，風速恢復原來狀態。

防風林之減風作用既如上述，其減風效果之大小，與下述有關，其一爲防風林奪取了多少的風力，其後爲防風林背後之弱風部份能擴張到什麼程度。具體的說，前者與防風林列數、密閉度有關，後者與防風林帶形狀有關。就密閉度言，60～70%最佳，林型則針對風向、樹高整齊者爲佳。表3列出防風林之密閉度及其減風效果例。

依表3，適當密度之防風林，於樹高約30倍之下風處，仍有20%之減風效果，防風垣或防風網之效果應與防風林大同小異。

且說防風林除奪取風力、改變流速作用之外，隨著空氣之流動，所搬運之熱量或水蒸氣量亦發生變化，亦即防風林前後之氣溫或濕度狀態較無防風林者有較大之變化。

圖4爲昔日台北帝國大學教授白鳥勝義先生在1937～38年，在台灣實施防風垣前後各氣象要素綜合觀測結果之一部份，以風上方8倍地點爲基準。顯示防風垣之保溫效果。圖中正的部份乃防風垣之保溫區域，距地表2m左右在風下方30倍附近仍有2℃以上的保溫效果。具有如此顯著保溫效果之實測例甚少見。此例爲各項條件重疊之下的觀測結果。各人在北海道旱作地之觀測結果約僅達白鳥先生觀測例所顯示保溫效果之二分之一而已。

然而，在水田之保溫效果則有明顯變化，圖5爲在北海道防風林風下方之水田水溫、氣溫、風速等之觀測例，尤其在生育初期，晴天時之水溫在風下方100m左右處仍高出4℃。

防風林或防風垣尙具有其他作用，値得認眞去探討，今天因爲時間有限，個人的演講僅到此結束，謝謝各位。

表1.農作物主要氣象災害一覽表(日本情況，小澤編)

災害原因		災害名稱	內容
溫度	由低溫所引起者	冷害	由於夏季之低溫所引起之災害
		冷水害	由於灌溉水低溫所引起水稻之被害
		寒害	晚霜、初霜期夜間之低溫所引起作物體凍結被害
		凍害	冬季過度低溫所引起作物體凍結受害
	由高溫所引起者	高溫害	超過作物適溫以上之高溫所引起之被害
降水量	過多	水害	洪水所引起之被害
		雨害	收穫期或開花期，長雨所引起之被害
		雪害	多雪所引起之被害
	過少	旱害	乾旱所引起之被害
風等外來破壞力所引起者		風害	強風、乾風、鹽風等所引起的被害
		雹害	降雹所引起之被害
其他原因所引起者		鹽害	鹽水或土壤中鹽分偏多所引起的被害
		霧害	霧發生次數太多所引起的被害
		環境污染害	大氣污染、水質污染等環境污染所引起的被害

圖1.結冰法之模式圖

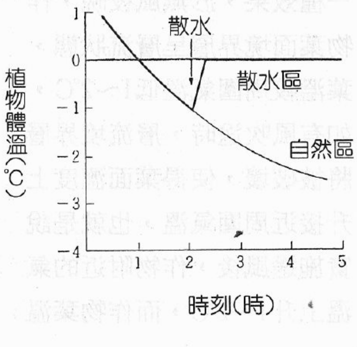

圖2.逆溫強度與有效面積

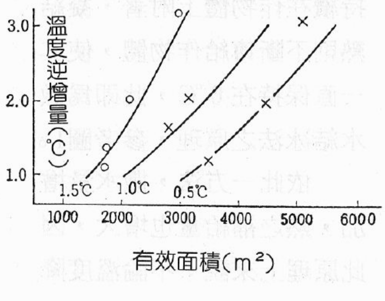

表2.農作物之主要氣象災害被害金額(久保編)

(單位：億圓)

年次＼項目	冷害	雨害	風水害	雹害	霜害	雪害	其他	合計	耕種而來的生產額	被害率
1966年	748	59	466	32	10	-	-	1,315	26,548	4.7%
67	-	945	170	48	3	42	-	1,208	31,376	3.7
68	-	-	242	51	-	100	5	398	33,176	1.2
69	620	88	268	7	49	18	-	1,050	34,869	2.9
70	-	103	945	7	-	-	-	1,055	34,206	3.0
71	1,333	-	614	-	85	-	-	2,032	32,167	5.9
72	-	-	609	-	78	-	-	687	35,975	1.9
73	-	894	-	-	-	-	-	894	43,550	2.0
74	-	-	696	34	84	62	-	876	54,853	1.6
75	-	406	414	158	-	-	-	978	65,012	1.5
76	4,093	-	950	32	76	-	-	5,151	66,719	7.2
77	-	-	239	42	-	482	57	820	72,524	1.1
78	-	1,380	483	-	-	-	11	1,874	74,417	2.5
79	-	-	988	75	118	-	-	1,181	74,876	1.6
80	6,919	25	507	14	40	19	26	7,550	69,660	9.8
81	2,622	84	1,629	12	143	521	20	5,031	73,984	6.4
82	1,165	113	1,705	46	183	-	17	3,229	73,460	4.2
83	2,095	145	436	117	52	36	42	2,923	76,752	3.7
84	-	859	139	27	36	826	30	1,917	83,522	2.2
85	-	356	732	20	100	12	49	1,259	82,996	1.5

表3.防風林之密閉度與背後地之風速(橫田)

型	背後地 (樹高倍數)								
	0	2	5	10	15	20	25	30	40
疏型(密閉度約30%)	90	80	70	75	85	90	95	100	100
中型(密閉度約50%)	40	25	20	25	50	60	75	90	100
密型(密閉度約100%)	0	20	40	65	80	85	95	100	100

圖3.防風林前後風之流線模式(谷原圖)

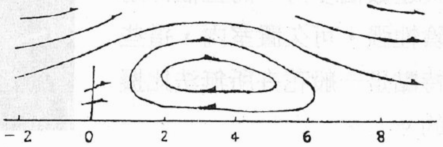

圖4.防風垣之保溫效果(白鳥)

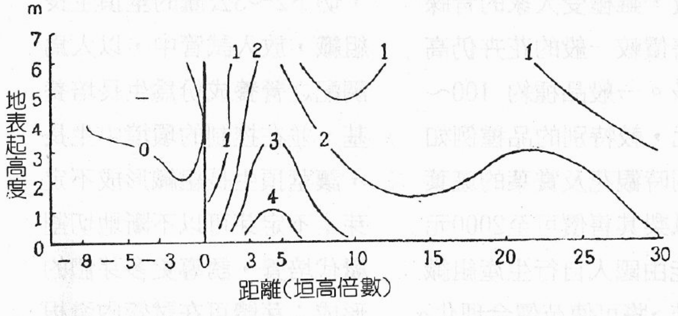
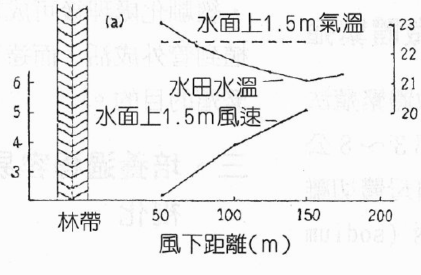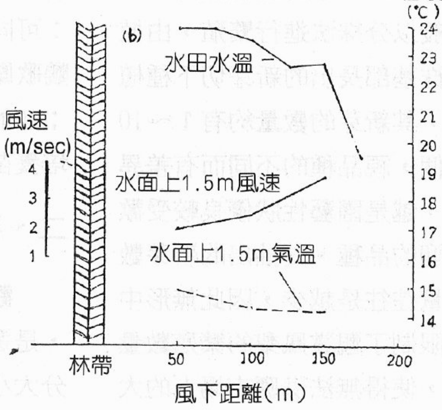
圖5.防風林之保溫效果(小澤)